養液栽培技術講習會專刊　第四輯　32～43, 1992

植物工廠發展現況

高　德　錚*

一、前　言

為促進農業生產科技化，農產品質精緻化及加速農業昇級，進而達到提高農民所得之目標，省農林廳于民國74年元月開始執行省府邱主席所提倡的精緻農業政策。筆者有幸適時投入開發蔬菜設施栽培生產技術之開發行列中，從事蔬菜無土栽培法之研究。至75年底完成本土化之動態浮根式水耕蔬菜工廠之開發，是項技術並於民國79年4月獲經濟部中央標準局新型第54275號專利權。數年來應青年農民之需求下，大約有20公頃之水耕農場散佈在全省各地，週年性生產各種高品質的水耕蔬果。

本省由於位於亞熱帶，每年從5月至10月間，氣侯高溫多濕，蔬菜生產過程中易罹患病蟲害，栽培管理較費人工，生產成本較高，加上地域性作物輪作制度，土地利用與農場經營習慣等因素所致，歷年來，農民種植夏季蔬菜之意願較低。以近年來全省蔬菜栽種面積大致在20～22萬公頃間，而夏季蔬菜之種植面積僅之26～34%間，且夏季蔬菜之產量亦僅佔全年總產量之30%上下。造成本省蔬菜季節性供需不平穩導致「菜金菜土」之癥結有三大主因：

㈠、盛夏時，颱風、豪雨及水災所導致之天候障礙。常導致菜農血本無歸，但若遇太平年，風調雨順時，菜農又無利可圖。

㈡、二期稻作後，秋高氣爽，苗栗以南之稻田，尚可裏作蔬菜，由於自然氣候上較宜蔬菜生長，且病蟲罹患率較低，生產成本較低。因之，冬季時，本省蔬菜面積及生產量比夏季高出一倍而價格大幅滑落。

㈢、國人嗜食青色蔬菜，尤其是青色的葉菜類，盛夏時，此類蔬菜較不耐高溫且生長緩慢又易因小菜蛾等害蟲侵襲，化學性農藥使用頻度過高，而導致消費者對菜葉上農藥殘毒的恐懼。因之，坊間對低農藥殘毒之「精緻蔬菜」趨之若鶩。

由上述之分析可知，由於社會繁榮，經濟快速成長，國民所得大增，消費者要求高品質之農產品，然而農民方面，卻因吾國之小農制，長年來農耕之生產成本過高，農家所得偏低，再加上農村工作屬重勞力，青年農民留農意願極低。因之，若不能即時提出嶄新的農業科技，使小農制之專業農家所得乃不輸於非從農者，否則待農村嚴重老齡化後，吾國農業生產結構將發生斷層。

民73～79年間、筆者有幸赴英國、荷蘭、德國、日本、美國等設施園藝高開發制度之國家參加研討會及接受相關訓練，實地了解高科技設施園藝栽培技術之奧妙及農家經營策略。經幾年來之反覆驗證，深深的感受到唯有從農業生產自動化去著手，使農業經營者亦能過著朝八暮五的上班生活，且每月（或每星期）有固定之現金收入，否則農村生活將因缺乏誘因而導致斷層。以筆者民國78年6月至9月間在荷蘭設施農家之實地研習經驗而言，設施農場大多為父子或兄弟合夥，經營面積從0.3～3公頃間，設施構築成本每1公頃在3～5千萬台幣間，所需資金悉數由銀行貸

---

* 台中區農業改良場研究員兼推廣中心主任

款，分12～15年攤還，但貸款期間若經營不善，銀行有權拍賣其農場來償還債務。以設施蕃茄農家爲例，若以設施土耕爲準，每年每平方公尺可生產23～30公斤，而採設施無土栽培者，每平方公尺可生產35～50公斤，因之，銀行在評估番茄農場之債信，乃以其每平方公尺之年產量在35公斤以上爲準。就農家而言，年收穫量均在45至55公斤間，而7～10年間農家即可償還全部債務，甚至第12年後即可再採用較新的設施農業科技，包括新品種、新型溫室、全自動電腦監控灌溉移植採收…等。換言之，對經營設施農業之農家而言是一種充滿刺激性、戰鬥性及賺錢的行業，無怪乎！在荷蘭設施農家之經營者年齡大致在25～45歲間，且其後代亦躍躍欲試，在高農畢業後，即投入生產線來磨練經營技術。本文，因之，擬先從國外工廠化，企業的農業科技談起，再論及未來本省農業自動化之策略。

植物工廠

一、何謂植物工廠

植物工廠是利用高科技的栽培方式，配合電腦調控設備，將植物種植在一個密閉的空間——猶如工廠廠房。廠內的二氧化碳、氧氣、濕度、肥料、光照等物化條件，均加以監控，使植物的生長速率、品質及產量，可不受大氣環境季節性之影響，如同工廠的生產線，具有精緻化、均質化及豐產性等特點。

蔬菜露天栽培會受到季節性的影響，使生育期無法預期，在栽培過程中，受到日射量、日長短、雨量多寡、病蟲害及連作障害等因素的困擾，使作物的產量及品質無法預估。近年來，各種簡易的設施栽培技術應運而生，例如最簡易的被覆栽培、矮隧道式栽培、水平棚架栽培、高隧道式栽培大量利用塑膠布、塑膠紗網及鍍鋅鐵管之栽培技術，均是爲達到防雨、防蟲、保濕的目的，來提高蔬菜的品質及產量。

設施內夏季高溫多濕，導致蔬菜熱徒長，設施內病蟲害一旦發生，較露地栽培更難防治。設施內栽植作物單一化，複作指數偏高，導致土壤發生連作障害的弊端，此等問題均造成簡易設施栽培在實用上的困擾。

植物工廠係結合無土栽培技術，並利用電腦達成栽培環境管理自動化、省力化和操作空間清潔化、輕勞動力等目標。不論是農地或非農地，均能在最小的土地面積上，以最集約的栽培技術，生產高品質及豐產性的蔬菜。露天栽培（傳統的栽培技術）、設施栽培及植物工廠，三種生產系統的比較如附表1。

植物工廠中的蔬菜栽培方式，大致採用水耕栽培法。水耕栽培是使作物的根系直接吸收液體肥，與露天栽培者相較，其養分利用率較高。因植物能獲得各種生長必須元素，所以生育速率較快。且無連作障害，收穫物的清潔度亦高。又因生育期間工廠內的濕度、溫度、光照、二氧化碳等栽培環境，均受電腦調控，使植物生長速率快，在短期間即可收穫，收穫量豐多。同時大氣環境因子被摒棄在外，病蟲害無法入侵，農藥的使用頻度幾乎爲零。植物工廠的主要特徵爲：(1)蔬菜的生產具計畫性、周年性、產量安定性；(2)生育期間短、收量多、單位面積之整年收量爲露天栽培的10餘倍；(3)無需使用農藥，蔬菜具生食性；(4)無需特定農地，都市內畸零地、大廈屋頂、地下室等，均能構築；(5)栽培立體化，一如養鷄場，亦可公寓化；(6)輕勞動力，老少皆宜；(7)與生物技術相結合，可生產稀有植物；(8)大量使用電力，建築費用設施成本高。

表一 蔬菜生產系統之比較

栽培別 特性	露天栽培	設施栽培	植物工廠
周年生產性	受自然環境的控制，不可能受季節影響	有困難 冬菜夏種尙待克服	可能
對象作物	一般季節性作物	也受季節影響，夏季時無法生產需低溫性蔬菜	可能生產非季節性高經濟價値蔬菜
單位面積收量	低	露地栽培的1.5～2倍	露地栽培的10～20倍
生產性（粗收入）	少	露地栽培的5～10倍	露地栽培的30～60倍
農藥	絕對必要	少許	不要
作業	重勞動力，且受天候影響	設施內高溫多濕、病蟲害、土壤連作障害等問題解決	輕勞動力，且無季節性
自動化 （環境管理）	困難	部份環境因子改善可自動化	多數環境因子控制已自動化
機械化 （作物管理）	少數作業過程可機械化	多數作業可機械化	完全自動化生產

世界上第一個植物工廠是1957年創立於丹麥，農場名稱爲「約克里斯頓」，面積有1,000平方公尺，採用人工光/太陽光併用型，周年生產萵苣菜，工廠內各種環境因子均依萵苣之最適生育條件而設定，從播至收穫均在自動化生產線上進行，年間可穩定地生產400萬包菜，營業額達83萬美金。

1963年，奧地利的盧斯拿公司創立一個高30公尺的玻璃溫室，採高塔型上下鏈條旋轉式的立體化栽培法，採用人工照明方式來栽種生菜及萵苣。1980年代瑞典亞伯森公司設立一面積達6,100平方公尺栽培室4,800平方公尺，育苗室800平方公尺，作業室500平方公尺的人工光/太陽光併用型植物工廠，工廠內主要以泥炭土苔爲介質來栽培萵苣，工廠中的設計是以9×60公尺的鐵架爲栽培床架，其上栽培床依萵苣的生育別，利用機器人調整其栽培密度，白天採用太陽光、遮光、冷氣、換氣等電腦自動調控其最適生長環境，夜間則採用高壓鈉燈及螢光燈併用來加強光照，光強度爲4,000～6,000Lux。

美國從1980年代有幾個實用化的植物工廠產生。1980年代成立的波里達卡農場有3000平方公尺及亞基塔尼約盧·米蘇蘭多農場有18,000平方公尺的水耕栽培植物工廠，均生產生菜及葉萵苣。

日本植物工廠的起步較晚，研究風氣始於日立製作所及電力中央研究所。1985年代日本之筑波萬國博覽會中，日立公司即率先展出一套三層樓高的塔型人工光源照明方式的蔬菜植物工廠，同年在千葉縣船橋市66平方公尺面積的植物工廠上市亦爲日立公司的傑作。在芽菜工廠化生產技術方面，1984年靜岡縣的「海洋牧場」成功地生產蘿蔔嬰的範例，亦代表日本在開發植物工廠的另一特色。

1990年在日本大阪召開之花綠萬國博覽會中，更展出一套康乃馨無菌種苗繁殖到成苗移植的工廠化生產模式，在此模式中兩組機器人之精確操作流程，已將植物工廠之實用化，邁出了一大步。

二、植物工廠之分類

植物工廠的生產設施費用極高。因此必須種植附加價值較高的植物，才能達到經濟性目的。目前世界各國的植物工廠，其產物分成芽菜、葉菜、果葉及菇類等四類。栽培作物種類如表2。

表二　植物工廠的對象作物

類　別	種　　類
芽　菜	蘿蔔嬰、苜蓿、豌豆苗、生菜苗
葉　菜	生菜、菠菜、葉萵苣、半結球萵苣、千寶菜
果　菜	草莓、甜椒、番茄
菇　類	草菇、金針菇、香蕈、鮑魚菇

植物工廠中，依作物生育所需光源的供給方式，可分爲人工光型、太陽光型及人工光/太陽光併用型三類。

1. 人工光型植物工廠

工廠的構築材料使用光不能透過的斷熱性高的資材，植物生長所需的光源直接來自螢光燈或高壓鈉燈等人工光源。植物工廠內的環境不受大氣氣溫或日光的影響，使室內的溫度、濕度及光度等栽培必須因素較易調控，植物生育亦較爲安定。唯人工光源的光量度及波長與太陽光間仍有區別，及對需強光性及生育期間較長的作物，在實際利用上仍有困難。

2. 太陽光型植物工廠

即植物工廠內的光源來自太陽光，如一般設施栽培使用的玻璃溫室或塑膠布溫室外加裝各種自動化環境不受大氣氣溫或日光的影響，使室內的溫度、濕度及光度等栽培必須因素較易調控，植物生育亦較爲安定。唯人工光源的光量度及波長與太陽光間仍有區別，及對需強光性及生育期間較長的作物，在實際利用仍有困難。

3. 人工光源及太陽光併用型植物工廠

本型植物工廠在白天直接利用太陽光，一方面給植物生長，一方面將太陽能儲積起來，以作爲一旦室溫過高時，各種環境調節系統啓動時所需的能源。通常此型植物工廠的環境調控系統均包括有多層遮光網、保利龍粒遮光設備、空調設備及人工補光用光源。與純粹人工光源植物工廠相比，此併用型，較爲省電，且允許植物接受較高的日射量，又能栽種生育期較長的作物。若與太陽光型植物工廠相比，此型較不受天候影響，具周年生產性。

三、植物工廠之設計基準

現階段植物工廠之營運尚不能突破設備投資費用高昂及日常營運經費不低之困境，導致大規模商業化植物工廠成功之例尙屬少數。要邁向開發實用化之植物工廠的道路，在硬體方面尙需考慮到建築物（溫室），栽培設施（栽培床、移植機器……），空調設備，水耕設備等等，使爾後之例行生產流程可以規則化，具多收穫性，且能在最省能源下，兼具節省人工之自動化比較及經濟性。表3爲設立植物工廠之必需條件，表4爲栽培設施之立體化，平面化及移動化間之差異。

構築植物工廠所採用之建築物，可分成兩種，人工型植物工廠係採隔熱保溫資材，工廠之外表與內部與一般倉庫相仿，而在太陽光型或人工光/太陽光併用型則大致採用玻璃溫室，爲一太陽光與人工光併用型植物工廠之外貌。

表三　植物工廠的設立準則

項　目	建　物	栽培設備	環境條件		
			空調設備	照明設備	水耕設備
生產過程的規格化			溫度、濕度、風速	光質、光強度、明暗周期照射時間	濃度 pH 溶氧量液溫，二氧化碳施肥
多收穫化		密植栽培，立體/平面移動/靜止			
省能源化	密閉、隔熱式，能利用天井之反射光		利用廢氣利用地下水	間斷照明，並能排除及利用照明設備生產之熱度	營養薄膜法
省力化、自動化		播種機、移植機、定植機、收穫機	電腦監控，溫濕度計、風速計、雨量計、光度計	電腦監控光度計	電腦監控，電導度計，pH 計、離子度計、二氧化碳計
經濟性	組合式建築	空間的有效利用	能源、電氣、瓦斯、石油		

人工光型植物工廠之構築與廠內週年必需溫控有關，廠內冷房負荷之設計則直接影響其營運成本。影響植物工廠冷房負荷之因素有5大項，分別爲：1. 外界侵入結構體之熱量，2. 結構體間隙之侵入熱量，3. 工廠內土地之發散熱量，4. 植物體之發散熱量，5. 人工光源之發散熱量。

表四 栽培設施的設置方式及特徵

方式	優點	缺點
立體式	土地之有效利用、需人工光補足時成本較低	設施內環境條件不均勻，栽培設施會遮蔽部分光源，初期投資大
平面式	設施內環境條件均一化光度相當平均，初期投資較少	實際栽培面積比率較少，早、晚之日射量較少
移動式	設施內環境條件均一化，栽培管理較容易，省力化能利用較低之入射太陽光	初期投資大

表五 植物工廠內各種感應器之使用範圍

測定要素 項目	氣溫	相對濕度	二氧化碳濃度	養液溫度	養液離子濃度	pH	溶氧量
測定範圍	0～100°C	20～100%	300～3000ppm	0～50°C	0～50 mmho	2～12	0～15ppm
測定法	溫度阻抗	電阻	紅外線測定儀	測溫阻抗（含半導體）	白金電極	玻璃電極	隔膜電極
準確度		±2%	1ppm	0.5～1.0%	0.5～2.0%～	0.2pH, 2%	再現性電極2% 指示計2%
應答時間(90%)	數十秒	數十秒	30秒～2分	數秒～數十秒	數秒～數十秒	20～50秒	
校正	基準溫度計		標準氣體	基準溫度計	標準液	標準度	0%飽和液檢定
注意事項	自動化	需溫度補償校正	測定過程需去除水蒸氣	預警系統	需溫度補償校正 預警系統	需溫度補償校正 預警系統	樣品流量0.2～2公升/分

在植物工廠內之栽培系統大致上均以水耕栽培為主，其原因係利用水耕養液始能提供植物最適之養份，由前述幾講中得知，各種水耕系統均有其優劣點，若無栽培環境之調控，則無法充份發揮其效能，典型之植物工廠中各種環境因子及水耕系統自動化控制項目包括育苗室及栽培室內之溫度、濕度、二氧化碳、遮蔭網之收放和栽培室內外之日射量及風速。又，栽培系統中之控制

項目爲養液之pH、濃度、給水及停電時之緊急處理。表5，植物工廠內各種感應器之使用範圍及注意事項。

國外植物工廠範例

一、芽菜工廠

近年來日本方面對於植物工的研究不遺餘力，1984年在靜岡縣創立的海洋牧場，其工廠化的生產蘿蔔嬰（radish sprout）即爲著名的範例。以下就其流程中的步驟詳述如下：

1. 種子來源

採『大阪四十日大根』及『美濃早生大根』等兩種品種，尤其是『大阪四十日大根』的品質及發芽生長勢較優。種子來源大部分透過日本商社委託國外農家契約採種，採種包括美國、中國大陸、臺灣及韓國等地，但以美國西海岸的種子品質較優。

2. 浸種

將購得的優良種子，先以比重法篩選不良種子及夾雜物，然後倒入金屬網籃中，此網籃是置於20°C的恆溫水槽，槽中水採用循環式每一小時動作一次，如此經3～5小時後取出。

3. 催芽

將種子移入催芽，此催芽室內的室溫以空調維持22°C及相對濕度爲70～75%。在催芽室中將浸種後的種子倒入木箱，其木箱規格爲50×20×4公分，在倒入前，木箱內先置入一層吸濕性強的吸水紙，接著倒入約3公分厚的種子，之後再於種子最上方加敷一層同質的吸水紙。將木箱堆置於多層的鐵架上24～36小時。

4. 播種

催芽後的種子直接倒入自動播種機中，由播種機以每穴放入268～280粒的速度，將種子撒於育苗箱中。海洋牧場專用的育苗箱爲保利龍製長60公分，寬45公分，厚5公分，箱內依消費者的需求量而異，分成20、25、35穴三種，其外形爲正方形或長方形。育苗箱底部分成有孔及無孔2種，箱內每一播種穴內亦依放置育苗用發泡海綿與否分成2種。

5. 灑水

從播種→育苗→綠化過程中每日需灑水一次，至綠化期時，若採用無孔的育苗箱栽培時，每日需灑水 2 次，灑水方法採用上方噴水式；若採用有孔的育苗箱栽培時，則直接將營養液灌入綠化池，使育苗箱浮起。海洋牧場所用的營養液配方如表6所示。爲日本大塚化工的均衡標準配方。

表六　日本大塚均衡標準營養液之組成分

成　分	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	B_2O_3	Fe	Mn
濃度(ppm)	260	120	345	230	60	1.5	2.7	1.5

在育苗室內的灑水中，添加量營養液隨播種後2～4日間，種子發芽後莖的伸長及子葉展開程度而增加，但播種後第一天的灑水中並不需添加營養液。至於育苗箱內之灑水方式是以蓮蓬頭噴灑爲主。

育苗室的環境因子需加以控制，例如室溫、相對濕度及室內照明度等均有一定的上下限，在室溫方面22～25°C，相對濕度爲75～80%，照明度爲1,000～1,500Lux，天雨時需以螢光燈補光。

6. 綠化

從播種開始至完成育苗大約需4～5天之後，再將育苗箱移入綠化室中生長2～3天。綠化室的環境因子與育苗室不同。就日照而言，需有8,000～15,000Lux間的照明度，冬季及夏季夜間照明度不足時需外加人工補光，否則芽體的葉綠素含量不高。此外綠化室內以秒速60公分強的風扇吹之，以保持室內通氣。綠化室中並安裝有二氧化碳通氣裝置，因冬季時，爲維持綠化室內的室溫，必須將全室密閉保溫，而造成二氧化碳，以增加芽體的光合作用能力。

海洋牧場的綠化室的灌液方式是採用水耕養液綠化池方式，亦即將育苗箱緊密地排列在養液池中，利用養液循環系統使育苗箱浮起。在綠化室中所用的營養液液溫則控制在20°C。

7. 消毒

進行芽菜生產最忌病菌感染，從種子發芽過程至綠化過程均可能著生病菌，最常見的現象爲種子生霉及綠化過程葉片呈現黑斑。然而，蘿蔔嬰是供生食用，不能使用人工合成有機殺菌劑直接處理種子或芽體來防止病菌感染。因此，海洋牧場方面僅以一種商品名稱爲「德米古龍 G」的藥劑進行育苗箱的浸漬消毒。德米古龍 G 主要成分爲70%的 $Ca(Cl0)_2$，此藥劑在自然光下極易進行光分解，而成無毒的離子化物質。又此藥劑在稀釋1,000倍下不但無消毒種子的作用，甚至一旦濃度提高時反而會抑制種子發芽及芽體生長。

進行工廠化芽菜生產之優點及特徵如下：

(1)種子發芽勢相當整齊

由於業者自行介入採種作業及篩選優良種子的步驟做相當徹底，因此，本質上其種子發芽勢較優，甚至爲了促進其芽體的生長勢，亦有採用例如植物荷爾蒙 GA100ppm 或其他藥劑處理。

(2)生產流程自動化

芽菜工廠的特徵之一爲生產流程僅需少數人力，但收穫包裝部門則需大量勞力。以位於日本神奈川一家生產蘿蔔嬰的行部澤芽菜公司爲例，其總面積6,400平方公尺（4,000平方公尺爲綠化室，2,400平方公尺爲育苗室），僅2名職員負責操作栽培系統，僱3名司機運送產品，及20名兼差的工人負責於每日上午收穫時拔除不良芽體（太長或太短的芽體）及包裝產品。

(3)工廠規模小但清潔衛生

芽菜工廠與一般葉菜水耕農場相比，佔地面積較小，但工廠經營方式與一般食品工廠相仿，相當清潔及衛生。

(4)可立體化栽培

日本靜岡縣兼正公司使用一套由山本產業公司開發的雙層盪鞦韆式芽菜生產系統，其特徵爲綠化場的土地面積可雙倍使用，生產流程與海洋牧場相異處爲種子浸種催芽6～12小時後，即撒播至保利龍的育苗箱中，之後，立即將育苗箱移入此雙層盪鞦韆式的系統上，如此經過6天後，即可收穫出售。綠化場的環境因子與海洋牧場相似，室溫維持在25～30°C間。本系統的灌水方式採用噴灑式，每日4次，即當各育苗箱回轉至系統前方的下層時，有數個噴頭可自動噴灑出養

液或清水。而多餘的水則由下方的 V 型灌水槽回收至養液槽。

二、工廠化豆芽生產

綠豆芽及黃豆芽生產事業在我國已有幾千年的歷史，從早期利用陶缸作爲暗室生長，至現代化利用類似貨櫃車輛似地密閉式育苗室，將室內以 FRP 浪板分隔成5間。或以塑膠箱每5個一組置於暗室內，但不論浪皮式隔間或塑膠箱，其下方均可迅速排水，而且隔間或塑膠箱的前方需有一道活動門，以便收穫時豆芽可由此門送入清洗及包裝的生產線上。

綠豆芽的生產流程大致相似於上述芽菜，其不同點爲無需綠化，在種子浸清3～6小時後，直接倒入隔間或塑膠箱中，如此經過5天後即可收穫。爲促進豆芽的生長，育苗室室溫需維持28～30°C 及相對濕度80～90%，且每天定時由隔間或塑膠桶上方噴灑清水，水溫爲17～20°C，每日2～4次。再者爲了促進芽體肥胖，育苗室內每日亦施放適量乙烯。

最近幾年苜蓿芽之營養價值逐漸被消費者所肯定，尤其苜蓿芽中高蛋白及維生素 A、D、E、B1、B2、菸鹼酸等豐富的含量，被認爲對消除疲勞、預防便秘、神經質有所助益。然而，苜蓿的種子較小，且芽體忌水及光線，大規模生產時需要特殊的育苗室。筆者在日本靜岡縣磐田之兼正公司看到一套圓桶型的苜蓿生產箱，此圓桶深1公尺，直徑1公尺，爲不銹鋼製圓桶，一方封死，另一方爲 FRP 塑鋼活動門。在育苗箱的內部由軸心分成四等分，每一等分的軸心面有數支噴頭，每日上午各2次，利用經低溫冷卻霧氣之噴出，以維持育苗室20°C 及相對濕度75～80%，此圓桶每小時旋轉1次。實際操作時，每一圓桶可放入12公斤的濕種子，即每一格3公斤，待7天後收穫時每一桶的收穫量爲96公斤，則每一格24公斤。

三、葉菜工廠

爲進一步瞭解植物工廠的內部結構及操作步驟，兹將日本電力中央研究所設立於群馬縣勢多郡宮城村的赤城研究所內1,000平方公尺的植物工廠爲範例，詳述如下：

工廠的造價爲80萬美元，總面積1,096平方公尺，溫室面積佔860平方公尺，600平方公尺爲實際栽培室，用於收穫、打包及移植等操作室佔地107平方公尺，種子發芽及育苗用的準備室佔地54平方公尺。在溫室冷卻系統方面，冷房用電88kw，蓄熱槽39立方公尺，溫水槽2平方公尺，溫室內熱交換器效率4,000卡/分，育苗用熱交換器效率400卡/分。在栽培室光照系統方面，採用200個鹵金屬合金燈，每個光照度400w，育苗室內採用76支螢光燈，每支光照度110W。整個系統安全電量爲350KVA。栽培床的設置採用水耕方式，可置1,500,000盆，每360盆或860盆依作物別由一栽培承板固定之。栽培室遮光方面採用雙層遮蔭網內遮光式。

工廠每月生產，萵苣爲1,720株（146公斤），菠菜6,880株（172公斤），千寶菜6,880株（206公斤）。耗電量，5月時爲每日1,680KWH,12月時爲1,620KWH。

工廠內白天利用太陽光爲主要光源，當光源太強時，可利用二層遮蔭網隔熱，至夜間則採人工光照明。在每24小時中植物光照17小時，照光時期室溫控制在25°C，其餘7小時的黑暗期，室溫爲20°C。工廠內相對濕度調控在70～80%間，二氧化碳濃度在1,000ppm 左右。植物是採用水耕栽培技術，利用可變栽培行株距的栽培裝置來加速植物生育速率。植物工廠中栽培設施中一個栽培床可裝置8組栽培槽，每一個栽培槽依作物別可承載數量不一的栽培缽及植株。

栽培及收穫流程如下：

在栽培流程中首先將種子預措後以機械播種機種植於海綿中，然後放在人工光照的育苗室中，等待出芽及綠化（大約10天），即待幼苗第一對葉片展開時，利用移植機將每一小海綿塊移植入植物缽中，再定植於栽培床上，每一栽培床可種860株。種子預措至健苗移植步驟是在栽培室外的育苗室中進行，待栽培床完成移栽作業後，由輸送帶將栽培床移入栽培室，藉由栽培室內的機械作業流程，將已種植的栽培床推向前方，以便留下空位。

在收穫流程中，也是採用機械作業，利用栽培床架上是吊車，將已屆收穫的栽培床吊起，送回栽培床架的前方，以利於工作人員取出收穫。以半結球萵苣的生育期爲例，自播種到採收需31天，菠菜則需25天。

至於栽培過程如何加大植株採行株距，以波菜爲例，需每5天重覆操作一次；半結球萵苣則每7天操作一次，首先，利用吊車將欲加寬的栽培床吊起放回床頭，再利用機械作業將栽培床推向前方，空出一個栽培房的位置，此時再放入一個空的栽培床，之後將栽培床推向前方，在推向前方前先利用吊車將栽培床內的栽培缽疏植之。一個栽培床中原有24個栽培缽，經第一次疏植一半至空的栽培床，至第二次疏植時，每一栽培床僅餘6個栽培缽（植株）。

國內植物工廠範例

一、芽菜工廠

位于桃園縣平鎭鄉之青山芽菜工廠是國內近年來較成功地以半自動化生產豌豆芽之農家，由詹朱金公子經營的豌豆芽工廠，佔地0.5公頃，栽培設施分成浸種、播種室、暗室、綠化室及收穫包裝室等四部分，其栽培流程大致爲：(1)浸種消毒（12～24小時），(2)撒種（2小時，包括育苗盤塡充質撒種），(3)催芽與暗室生長（4天），(4)綠化（2～4天）。換言之，從播種至採收約在6～8天間。青山農場之日產量，大約在2000公斤左右，若以工廠交割價每公斤每平均50元，其年淨所得率在30%間，亦即3年間將可回收其投資額。

二、水耕蔬菜工廠

在逐漸分佈於本省各縣市之鄉村中，可找到以經營24間，每間長20公尺，寬2.1公尺及高2.1公尺之水耕網溫室農家，這種溫室即爲前述由台中區農業改良場所開發之動態浮根式水耕栽培技術。由高雄市小港區佘振喜農友所經營之力揚水耕農場爲例，佔地0.3公頃，內有24間小溫室，每日生產小包裝（每包250公克）葉菜類600～800包。力揚農場之人力配備爲夫婦2人及雇長工1人及兼業播種工1～2人，當初水耕硬體投資成本0.1公頃新台幣120萬。若以其目前工廠交割價每包平均新台幣 9 元，則其年淨所得率在23%間，亦即四年間將回收其投資額。

結　　語

每逢盛夏台灣地區的風災，水害導致菜價上揚的夢魘，在40年來並沒有良善的解決方案，歷年來農政單位先後曾致力於(1)推廣高冷地夏季蔬菜生產計劃，(2)擴大夏季蔬菜面積及增設蔬菜專

業區，分散菜源，(3)改進耕作技術，加強夏季水生蔬菜之生產及(4)獎勵簡易設施土耕栽培；唯一旦颱風來襲災情慘重時災後少則二星期，多則一個月間，菜價居高不下。因之，就解決夏季蔬菜供銷的困難，勢必有一套抗颱風之設施蔬菜栽培技術，否則不能奏效。以現今省農林廳推廣之簡易塑膠布土耕溫室而言，夏季時，設施內蔬菜平時需忍受高室溫，低濕度之逆境，一旦颱風來臨時，塑膠布首先被吹破，隨即骨架被扭曲，而蔬菜則因風雨交加之迫害而屍骨無存。

21世紀未來的農業生產，是一種生物科技和電腦化工業相結合的植物工廠化生產。在一個數層樓高的圓形植物工廠，中央部位為生產管理總樞，扇形各部為各農場的生產及數穫，中央部地下則為收穫物打包、貯藏及運輸、販賣。我們可憧憬著一對夫婦經營的蔬菜工廠，竟建築在住宅區的4層公寓大廈內，頂層由太太負責，其作業範圍包括整個工廠的電腦監視及蔬菜浸種、催芽、播種、綠化及定植，至於先生則負責第2、3層蔬菜生產線（植物工廠的栽培區）的現場作業，及底層蔬菜生產線末端的收穫、包裝、運輸及販賣等等操作。未來21世紀的農業，生產品的均一化、品質的精緻人和管理的自動化，是可以預期的。

唯，以本省現階段設施農業的發展趨勢看來，若未能即時了解自身的處境（環境因子、作物種類、國人嗜食習慣……）而冒然引入溫帶國家慣用之自動化設施栽培技術而無法本土化，則不但無法達到農業昇級，提高農民所得，反因生產成本過高，更加無法與國農產品相匹配，終將落入萬劫不覆之地。

圖一　日本電力中央研究所之人工自然光併用型之植物工廠

圖二　美國洛杉磯波利達卡植物工廠為自然光型，雙層式每日生產6000個半結球萵苣

圖三　美國芝加哥 Adams 植物工廠之自動化採收系統（左）及萵苣生長盛況（右）

圖四　台中區農業改良場之植物工廠自然光（左）及人工光（右）併用型